

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international(43) Date de la publication internationale  
13 mai 2004 (13.05.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
WO 2004/040236 A2(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :

G01C 11/00

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2003/050101

(22) Date de dépôt international :

21 octobre 2003 (21.10.2003)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

02/13303

24 octobre 2002 (24.10.2002) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : COM-  
MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR];  
31/33, rue de la Fédération, F-75752 PARIS 15ème (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : GAS-  
PARD, François [FR/FR]; 6 résidence la Vaucouleur,  
F-91940 LES ULIS (FR). NAUDET, Sylvie [FR/FR];  
124 rue Marceau, F-91120 PALAISEAU (FR). NOIR-  
FALISE, Eric [FR/FR]; 21 bis rue de Cotevet, F-63000  
CLERMONT (FR). SAYD, Patrick [FR/FR]; Résidence  
le Grimpé 2, F-91140 VILLEBON S/YVETTE (FR).(74) Mandataire : LEHU, Jean; C/O Brevatome, 3, rue du  
Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).

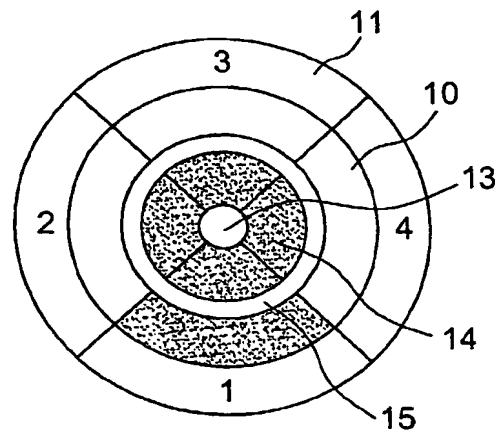
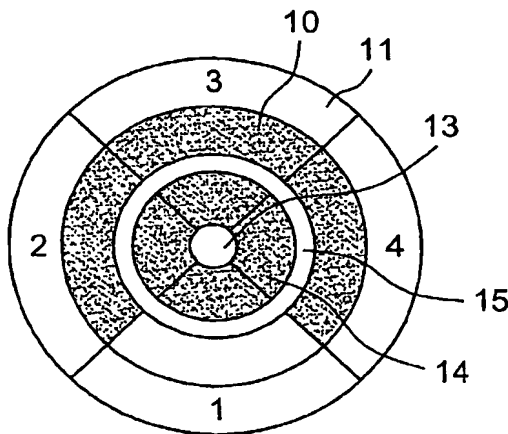
(81) États désignés (national) : CA, US.

(84) États désignés (régional) : brevet européen (AT, BE, BG,  
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,  
IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: CODED TARGET AND PHOTOGRAMMETRY METHOD USING SUCH TARGETS

(54) Titre : CIBLE CODEE ET PROCEDE DE PHOTOGRAMMETRIE UTILISANT DE TELLES CIBLES



(57) Abstract: The invention relates to a coded target which is used in photogrammetry. According to the invention, the coded target is circular and consists of at least two concentric coding rings comprising at least two equal angular sections which are disposed around a central area. Said central area comprises a central, homogeneously-coloured disk which is surrounded by a complementarily-coloured ring which is, in turn, surrounded by a ring of the same colour as the central disk. The invention also relates to a photogrammetry method which can be used for the automatic detection and identification of such targets.

(57) Abrégé : La présente invention concerne une cible codée utilisée en photogrammétrie, qui est circulaire et comporte au moins deux anneaux de codage concentriques d'au moins deux secteurs angulaires égaux, disposés autour d'une zone centrale comportant un disque central de couleur homogène entouré d'un anneau de couleur complémentaire, lui-même entouré d'un anneau de même couleur que le disque central. La présente invention concerne également un procédé de photogrammétrie permettant de détecter et d'identifier automatiquement de telles cibles.



WO 2004/040236 A2



**Publiée :**

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée  
dès réception de ce rapport*

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

**CIBLE CODEE ET PROCEDE DE PHOTOGRAMMETRIE UTILISANT DE  
TELLES CIBLES**

**DESCRIPTION**

**5    DOMAINE TECHNIQUE**

La présente invention concerne des cibles codées utilisées en photogrammétrie et un procédé de photogrammétrie utilisant de telles cibles codées spécifiques.

10

**ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE**

Le domaine technique de l'invention est celui de la photogrammétrie et concerne donc la détermination de la dimension et la place des objets d'une scène au moyen de mesures faites sur des photographies de ces objets sur lesquels sont disposées des cibles codées.

De nombreuses applications de photogrammétrie passent par l'utilisation de cibles qui, placées dans la scène observée, permettent de mesurer avec une grande précision la position d'un point dans les différentes vues disponibles. Afin d'obtenir un degré d'automatisation plus important, certaines cibles, dites cibles codées, peuvent contenir une information permettant de les identifier de manière unique.

Un premier document, référencé [1] en fin de description, donne des exemples de cibles codées développées pour permettre des mesures en trois dimensions. Ces cibles sont circulaires ou non et

comportent des caractéristiques favorables pour la capture et le traitement d'une image : par exemple un cercle central et des points de codage.

Un second document, référencé [2], donne lui  
5 aussi des exemples de cibles codées.

Un troisième document, référencé [3], décrit des cibles codées comprenant des cercles concentriques, le cercle interne étant noir, le cercle externe étant blanc avec un pourtour noir. Le codage binaire d'une  
10 cible consiste en de petits cercles noirs situés entre le cercle interne et le cercle externe.

Un quatrième document, référencé [4], décrit une méthode permettant de localiser une caméra montée sur un robot à partir d'une cible composée de deux  
15 cercles se projetant en ellipses dans l'image. Cette méthode repose explicitement sur une connaissance des diamètres des cercles ainsi que sur les paramètres dits internes des caméras (cas calibré). Le code associé aux cibles est lié au rapport de taille entre les deux  
20 cercles.

Un cinquième document, référencé [5], décrit très précisément toutes les applications possibles en photogrammétrie de cibles codées sans toutefois préciser une méthode d'identification de ces cibles.

25 Un sixième document, référencé [6], propose un procédé pour identifier des objets avec des cibles codées. Ce procédé est conçu pour maximiser le nombre de codes différents. Cela implique de contrôler les conditions d'acquisition, i.e. la position entre la  
30 cible et la caméra.

La détection automatique obtenue dans ces documents de l'art connu permet de connaître précisément la position d'un point d'une scène dans une image ou de suivre cette position au cours d'une  
5 séquence d'image et de recalcr les différentes images entres elles.

Devant l'importance de disposer d'un outil permettant de mesurer la position d'un point d'une scène dans une image et malgré les progrès actuels en  
10 vision par ordinateur, l'invention a pour objet de proposer un système de cibles codées comportant à la fois une spécification des cibles et une partie logicielle permettant la reconnaissance et le positionnement précis des cibles dans une image.

15

#### EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention propose donc une cible codée utilisée en photogrammétrie, qui est circulaire et comporte au moins deux anneaux de codage  
20 concentriques d'au moins deux secteurs angulaires égaux, disposés autour d'une zone centrale comportant un disque central de couleur homogène entouré d'un premier anneau de couleur complémentaire, lui-même entouré d'un second anneau de même couleur que le  
25 disque central. Avantageusement le premier anneau de codage, qui est le plus interne, a tous ses secteurs de la même couleur sauf un qui a une couleur complémentaire.

Deux couleurs différentes ou bien deux  
30 intensités lumineuses différentes sont qualifiées de couleurs complémentaires. Le codage des cibles

conformément à l'invention est basé sur un codage binaire selon ces deux couleurs complémentaires.

Avantageusement, le disque central est de couleur blanche ou noire. Le second anneau qui entoure  
5 le premier anneau entourant le disque central est plus fin que le premier anneau. Chaque secteur de chaque anneau est de couleur homogène.

Avantageusement, la cible comporte un troisième anneau de codage dont les secteurs sont de la  
10 couleur complémentaire à celle du secteur adjacent du second anneau de codage.

Dans une telle cible, la zone centrale (disque central et deux anneaux) sert à la détection rapide de la cible et à la localisation précise de son  
15 centre par un logiciel de reconnaissance. Les anneaux de codage sur chaque cible sont numérotés par ordre croissant du centre vers l'extérieur par ledit logiciel de reconnaissance.

Avantageusement, l'ensemble des anneaux de  
20 codage a un codage spécifique invariant par rapport aux rotations de la cible.

Le fait que le premier anneau de codage a tous ses secteurs de la même couleur sauf un qui a une couleur complémentaire, permet de désigner le secteur  
25 adjacent du second anneau, entourant le précédent, comme étant le premier secteur de cet anneau. Ainsi, la numérotation des secteurs, par exemple par ordre croissant par rotation dans le sens des aiguilles d'une montre, est assurée sans ambiguïté et sans nécessiter  
30 de marque externe.

Le troisième anneau de codage a pour fonction d'assurer la robustesse aux occultations (partielles) de la cible par des objets de la scène placés entre le point de vue et la cible.

5 Dans le cas de deux anneaux de codage ayant chacun  $n$  secteurs, le codage selon l'invention permet de distinguer  $2^{n+1}$  cibles et s'avère donc plus performant que le codage réalisé dans l'art antérieur.

10 La présente invention concerne également un procédé de photogrammétrie utilisant de telles cibles codées spécifiques et un logiciel de reconnaissance de ces cibles sur des images,

caractérisé en ce qu'il comprend les étapes  
15 suivantes :

- une étape de détection rapide de la zone centrale des cibles donnant une première localisation des cibles sur l'image,

- une étape de localisation fine des cibles  
20 prenant en compte les déformations dues à la perspective,

- une étape d'identification de la cible avec identification des anneaux de codage et de leurs secteurs, évaluation des couleurs des anneaux de codage  
25 et gestion des occultations.

Avantageusement, l'étape de détection comprend successivement :

- utilisation d'un filtre dérivateur, tel que par exemple un filtre de Sobel ou un filtre de  
30 Canny-Deriche, pour le calcul des gradients en X et en Y,

- calcul de la norme du gradient et de la direction de celui-ci,

- calcul des images d'intersection et de direction,

- 5                   - extraction des cercles et des ellipses,  
                  - filtrage par seuillage,  
                  - étiquetage,  
                  - filtrage par régions.

Avantageusement, l'étape d'identification  
10 comprend, pour chaque cible :

- Segmentation adaptative,  
                  - Estimation des déformations cercle/ellipse,  
                  - Echantillonnage régulier des couronnes,  
                  - Extraction des listes de couleurs,  
15                  - Filtrage des listes,  
                  - Identification de la cible,  
                  - éventuellement Gestion des occultations.

Les cibles de l'invention peuvent  
20 avantageusement être utilisées dans le domaine de la métrologie industrielle, et dans le domaine de la vision par ordinateur.

D'un point de vue général, l'invention  
25 permet d'obtenir à la fois une grande précision dans l'extraction des cibles et une robustesse importante aux déformations liées à l'acquisition par rapport aux méthodes et aux cibles existantes qu'elles soient circulaires ou non.

30                  Par rapport aux méthodes existantes décrites dans les documents référencés [1], [2] et [3],



les cibles selon l'invention offrent une grande robustesse aux distorsions projectives que l'on rencontre dès que l'on modifie le point de vue d'une scène, le plan image de la caméra ne restant pas  
5 parallèle au plan de la cible. D'autre part, les spécifications de ces cibles codées permettent d'obtenir directement des algorithmes rapides, précis, résistants aux variations de luminosité que l'on rencontre fréquemment au sein d'une même image, et  
10 invariants à l'échelle de la cible. En effet, selon l'application visée, on peut considérer plusieurs jeux de cibles de tailles différentes sans aucune modification logicielle ou physique sur les cibles.

Par rapport au document référencé [4],  
15 l'approche de l'invention, basée sur des rapports de distance entre les différentes couronnes (pour le parcours des couronnes et non pour le code lui-même) ne fait ni appel à une connaissance explicite des diamètres des cercles ni à une connaissance des  
20 paramètres de calibration (paramètres internes) de la caméra.

Par rapport au document référencé [5], l'invention concerne un procédé d'identification et de localisation de cibles codées, qui est plus performant  
25 que les procédés brièvement décrits dans ce document : du fait du nombre de cibles codées identifiables et de la robustesse du procédé de l'invention aux conditions d'acquisition grâce à l'utilisation d'un premier anneau de codage qui sert à la fois de repérage en orientation  
30 et de codage.

Dans le document référencé [6], la cible est circulaire avec des bandes et la dernière couronne sert à repérer les différentes positions angulaires. Dans le cas de l'invention, on utilise un seul repère angulaire, permettant d'orienter la cible (premier anneau de codage) et servant également à coder la cible (un bit de codage supplémentaire). D'autre part, les différentes positions angulaires des secteurs sont, dans le cas de l'invention, retrouvées à partir des déformations perspectives de la zone centrale et non pas à partir de repères régulièrement positionnés autour de la cible comme présentés dans ce document. De plus, le repérage angulaire présenté dans ce document réduit de manière importante la place physiquement disponible sur la cible pour y faire figurer le code. Le logiciel de décodage utilisé diffère donc grandement du procédé de l'invention (présence de tableaux pour les positions angulaires, ...)

## 20 BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La figure 1 illustre une cible codée selon l'invention avant et après projection de la cible dans l'image.

La figure 2 illustre la non invariance du code d'une cible circulaire à quatre secteurs homogènes par rotation.

La figure 3 illustre une cible codée, selon l'invention, à quatre secteurs avec repérage du premier secteur.

La figure 4 illustre le procédé de reconnaissance des cibles codées selon l'invention.

La figure 5 illustre la discrétisation de l'espace des directions dans le cas d'un cercle.

5 La figure 6 illustre la discrétisation de l'espace des directions dans le cas de l'ellipse.

La figure 7 illustre le procédé de détection selon l'invention.

10 La figure 8 illustre un repère lié à une ellipse.

La figure 9 illustre les paramètres estimés de l'ellipse.

15 La figure 10 illustre l'utilisation d'un invariant projectif pour échantillonner les points des différents anneaux

Les figures 11A et 11B illustrent une sélection de points pour un échantillonnage régulier.

La figure 12 illustre la représentation des points caractéristiques de l'ellipse.

20 La figure 13 illustre la recherche des coordonnées d'un point M à l'aide de ses composantes.

Les figures 14A et 14B illustrent une cible donnée et un exemple d'histogramme bimodal obtenu à partir de celle-ci.

25 La figure 15 illustre l'ajout d'un troisième anneau de codage pour la gestion des occultations.

La figure 16 illustre un exemple de cible codée permettant de gérer les problèmes d'occultation.

30 La figure 17 illustre le procédé d'identification selon l'invention.

**EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS**

Afin d'obtenir une grande robustesse aux distorsions projectives et une détection rapide, les  
5 cibles selon l'invention sont circulaires et comportent plusieurs anneaux de codage 10 et 11, placés autour d'une zone centrale 12.

Cette zone centrale 12 est composée d'un disque blanc 13 placé à l'intérieur d'un anneau noir 14  
10 qui est, lui-même, entouré d'un anneau blanc 15 comme représenté sur la figure 1. Les étapes de détection et de localisation précise de la cible s'effectuent sur cette zone centrale 13. Il est également possible d'utiliser un motif dont les couleurs sont inversées :  
15 un disque noir 13 à l'intérieur d'un anneau blanc 14, entouré d'un anneau noir 15.

Chaque anneau de codage est décomposé en secteurs de taille identique et de couleur homogène. Le codage est effectué sur deux couleurs (noir et blanc,  
20 codage binaire) pour permettre un fort contraste et assurer la robustesse aux variations d'éclairage qui peuvent être importantes. Etant donné la couleur de chaque zone homogène, il existe donc  $2^n$  cibles différentes. Si l'on considérait une cible contenant un  
25 anneau de codage et  $n$  secteurs, elle ne serait pas utilisable car le codage ainsi réalisé ne serait pas invariant aux rotations de la cible. En effet, il convient de repérer le premier secteur de la cible pour trouver le code correspondant à la cible. Une cible  
30 peut conduire à  $n$  codes différents selon le secteur de départ de l'algorithme de décodage, comme illustré sur

la figure 2, où la croix noire 16 représente le point de départ de la lecture du code.

Contrairement aux cibles présentées dans le document référencé [3], où chaque cible est identifiée par n codes, et pour conserver un nombre réduit de secteurs de codage, une cible selon l'invention comporte un premier anneau de codage 10 qui sert à trouver le premier secteur de la cible. En effet, tous les secteurs de cet anneau de codage 10 ont la même couleur sauf un. Ce secteur permet d'identifier le premier secteur de l'anneau de codage 10 et par suite le premier secteur du deuxième anneau de codage 11 et par conséquent permet de déterminer l'orientation de la cible.

On obtient deux types de cibles à partir de la couleur de ce secteur et donc un bit de codage supplémentaire par rapport à une cible à n secteurs et un seul anneau de codage. Il est ainsi possible, avec n secteurs différents et deux anneaux de codage, d'identifier visuellement et de manière unique  $2^{n+1}$  cibles différentes, comme représenté pour quatre secteurs sur la figure 3.

L'utilisation des cibles codées pour une application de vision trois dimensions (3D) impose également une contrainte de robustesse aux occultations. En effet, suivant le point de vue, un objet peut masquer une partie d'une cible et conduire à une mauvaise identification de la cible. L'ajout d'un troisième anneau de codage, copie en couleurs inverses (le blanc devient noir et le noir devient blanc) du deuxième anneau permet de détecter une telle situation.

Le procédé de reconnaissance de telles cibles codées se décompose en trois étapes successives illustrées sur la figure 4, à savoir :

- détection (étape 20),
- 5        - localisation sous-pixelique (étape 21),
- identification (étape 22).

La première étape de détection permet de retrouver rapidement la zone centrale de chacune des cibles codées dans l'image. La position des cibles dans  
10 l'image est ensuite affinée dans une étape de localisation fine, permettant également de considérer les distorsions liées à la projection dans l'image. Enfin, la dernière étape permet de retrouver l'identification de la cible, à partir des paramètres  
15 de l'ellipse, liés à la projection 17 de la cible dans l'image (voir figure 1).

#### **Etape de détection de cibles**

Le but de cette étape de détection 20 est de détecter la présence de la zone centrale 12 d'une cible dans l'image. Cette zone, constituée d'un disque blanc entouré d'un disque noir (ou inversement) va être déformée, par la projection, en une ellipse 17 dans l'image, comme illustré sur la figure 1.

25        Le procédé de l'invention permettant la détection des ellipses dans l'image est basé sur un algorithme par accumulation adapté au cas des ellipses.

On calcule tout d'abord le gradient (module et direction) de la luminance de l'image, ou de l'image  
30 obtenue par traitement des couleurs de l'image originale, par une technique classique de traitement

d'image (filtrage de Deriche, filtre de Sobel, ...). On crée alors deux images, de taille identique à l'image en entrée : une image de direction et une image d'intersection, initialisées à zéro.

5                   En chaque point de l'image de module supérieur à un seuil (présence d'un contour), on parcourt l'image le long d'une droite perpendiculaire au contour (direction du gradient donnée par le filtre de détection de contour) sur une distance paramétrable.

10                   La valeur de chaque pixel de l'image d'intersection correspondant à un pixel de l'image parcouru par ce lancer de rayon est incrémenté d'une unité, créant ainsi une image d'accumulation.

                  Parallèlement à cette image d'intersection,  
15 on génère une image, appelée image de direction, qui comptabilise pour chaque pixel les différentes directions rencontrées en parcourant ce pixel. Pour ceci on discrétise l'espace des orientations du gradient en 8 secteurs comme le montre la figure 5.  
20 Chaque orientation du gradient est alors identifiée par le secteur auquel elle appartient. Lors du lancer de rayon, on recense en chaque pixel les différentes orientations rencontrées parmi les huit possibles.

                  Le codage employé permet d'utiliser un  
25 codage binaire sur 8 bits pour connaître les différentes directions rencontrées pour un pixel, chaque direction correspondant à un bit affecté dès que la direction est rencontrée.

                  Si on considère le cas d'un cercle, comme  
30 illustré sur la figure 5, en partant des contours du cercle, perpendiculairement à la direction du contour,

les différents rayons parcourus convergent vers le centre du cercle, créant ainsi un point d'accumulation (forte valeur de l'image d'intersection). D'autre part, le point correspondant au centre du cercle de l'image d'intersection contient les 8 directions possibles, permettant ainsi de détecter la présence du cercle dans l'image. De nombreux algorithmes de détection de régions circulaires sont basés sur des algorithmes similaires.

10 Dans le cas d'une ellipse (projection d'un cercle dans une image), deux points d'accumulation apparaissent au niveau des deux foyers  $F_1$  et  $F_2$  de l'ellipse comme illustré sur la figure 6.

La détection des cibles est alors possible en détectant les points présentant huit directions (cas du cercle parfait) ainsi que les points présentant cinq directions consécutives et une direction perpendiculaire (cas des ellipses).

Lorsque l'on utilise un tel algorithme sur une scène contenant plusieurs cibles codées, ces cibles sont détectées de manière rapide. Mais un grand nombre de faux candidats subsiste. Deux filtres sont successivement appliqués pour faire décroître le nombre de faux candidats :

25 - Par seuillage :

Le centre de la cible étant blanc (respectivement noir), tous les points détectés de niveau de gris trop faible (respectivement trop élevé) sont supprimés. Le seuil est fixé à un niveau bas pour éviter une grande sensibilité des résultats en fonction de ce seuil.

30



- Par étiquetage de la cible :

Autour de chaque point détecté, un étiquetage permettant de regrouper tous les points, dont l'intensité lumineuse est proche, est réalisé.

5 Pour chacune des zones créées, on conserve uniquement le centre de gravité correspondant au centre du cercle. Lorsque les déformations perspectives ne sont pas négligeables, il convient de calculer ensuite la position du centre de la cible dans l'image en  
10 utilisant les déformations perspectives : c'est le but de l'étape de localisation des cibles 21.

Le procédé de l'invention permet donc une détection des centres des cibles dans l'image, à faible coût de calcul. Toutes les cibles sont détectées, mais  
15 quelques faux appariements subsistent et doivent être traités ultérieurement.

La figure 7 résume l'enchaînement des différentes étapes du procédé de détection.

On a ainsi successivement :

20 - utilisation d'un filtre dérivateur, tel que par exemple un filtre de Sobel ou un filtre de Carry-Deriche, pour le calcul des gradients en X et en Y (étapes 30 et 31),

- calcul de la norme du gradient et de la  
25 direction de celui-ci (étape 32),

- calcul des images d'intersection et de direction (étape 33),

- extraction des cercles et des ellipses (étape 34),

30 - filtrage par seuillage (étape 35),

- étiquetage (étape 36),

- filtrage par régions (étape 37).

En sortie de cet algorithme, on dispose d'une série de points correspondant aux zones centrales des cibles mais pouvant toutefois contenir quelques  
5 faux candidats.

#### Etape de localisation des cibles

Le but de cette étape 21 est d'estimer précisément la position du centre des cibles dans  
10 l'image ainsi que les distorsions liées à la projection perspective.

Deux méthodes de l'art connu permettent d'estimer les déformations liées à la projection, soit par détection sous pixelique, soit par estimation  
15 directe des paramètres de l'ellipse comme décrit dans le document référencé [2].

Dans le procédé, on cherche l'équation d'une ellipse dans un repère  $(0, \bar{i}, \bar{j})$  quelconque connaissant son centre  $(m_x, m_y)$ , la longueur de ses axes  
20 a et b ainsi que son orientation donnée par l'angle  $\theta$  entre l'axe des abscisses et son grand axe.

Pour déterminer cette équation, on se place dans le repère  $(0', \bar{i}', \bar{j}')$  tel que  $0' = (m_x, m_y)$  et  $\bar{i}', \bar{j}'$  respectivement parallèles au grand axe et au petit axe  
25 de l'ellipse, comme le montre la figure 8.

Dans le repère  $(0', \bar{i}', \bar{j}')$ , l'équation de l'ellipse (E) est la suivante :

$$\begin{cases} x' = a \times \cos(u) \\ y' = b \times \sin(u) \end{cases} \text{ d'où l'équation } \frac{x'^2}{a^2} + \frac{y'^2}{b^2} = 1.$$

Par ailleurs :

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = R\theta \left( \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} - T_{00'} \right) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - m_x \\ y - m_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta)(x - m_x) + \sin(\theta)(y - m_y) \\ -\sin(\theta)(x - m_x) + \cos(\theta)(y - m_y) \end{pmatrix}.$$

On a donc, dans le repère R, l'équation suivante pour l'ellipse (E) :

5

$$\frac{(\cos(\theta)(x - m_x) + \sin(\theta)(y - m_y))^2}{a^2} + \frac{(-\sin(\theta)(x - m_x) + \cos(\theta)(y - m_y))^2}{b^2} = 1 \quad (1)$$

en posant  $E = \tan(\theta)$  et en remarquant que  $\cos^2(\theta) = \frac{1}{1+E^2}$ ,

on obtient :

$$10 \quad \frac{((x - m_x) + (y - m_y)E)^2}{a^2(1+E^2)} + \frac{((y - m_y) - (x - m_x)E)^2}{b^2(1+E^2)} = 1 \quad (2)$$

On peut alors représenter les paramètres estimés précédemment par la figure 9.

A partir du centre de gravité de la cible  
15 ' codée, donné par l'étape de détection 20, on peut  
rechercher par échantillonnage le long de droites des  
points appartenant au premier anneau et, à partir de  
ces points, trouver les paramètres de l'ellipse ainsi  
que la position précise (sous-pixelique) du centre de  
20 la cible dans l'image. Lorsque la recherche des points  
du premier anneau s'avère infructueuse, la cible est  
rejetée (fausse détection).

A l'issue de cette étape 21, on dispose des  
paramètres de chacune des ellipses détectées.

25

#### Etape d'identification des cibles

Cette étape 22 est elle-même formée de  
plusieurs étapes :

- Echantillonnage des points des anneaux

Sur une droite donnée passant par le centre de la cible, la détection des extrémités du premier anneau 14 à partir du centre de la cible, permet de retrouver les points des différents anneaux de codage par le calcul d'un birapport, invariant par projection (c'est-à-dire que ce rapport reste constant dans toute image de la cible quelque que soit le point de vue).

La figure 10 représente les éléments nécessaires à la recherche d'un point M dans un anneau de codage, à partir du centre de la cible, le point B, et des extrémités du premier anneau 14 sur le rayon, les points A et C.

La relation suivante permet alors de calculer les coordonnées du point M :

$$\Pi_{ABCM} = \frac{\overline{MA} \cdot \overline{BC}}{\overline{BA} \cdot \overline{MC}}$$

où  $\Pi_{ABCM}$  est un birapport, invariant par projection et indépendant du choix de la droite passant par le centre de la cible. Ce birapport ne dépend que du rapport entre le rayon du premier anneau 14 et le rayon de l'anneau de codage portant M (connu par construction de la cible).

L'identification est alors réalisée en échantillonnant l'espace des orientations des droites (représenté par l'angle  $\alpha$  sur la figure 10) afin de couvrir l'ensemble de l'anneau de codage.

Le paragraphe suivant montre comment prendre en compte les déformations elliptiques afin

d'effectuer un échantillonnage régulier autour du cercle (voir figure 11).

• Echantillonnage régulier

5                   La déformation elliptique due à la projection perspective de la cible dans le plan de projection est prise en compte par l'utilisation d'un birapport lors de l'échantillonnage des points. Ainsi, le problème ne consiste pas ici à retrouver les points  
10 de contour de la tache mais plutôt à effectuer un échantillonnage angulaire adapté aux déformations perspectives.

On dispose de l'orientation, des dimensions et du centre de l'ellipse. Il est alors possible de  
15 calculer les paramètres (à un facteur d'échelle près) de la déformation homographique qui a transformé la zone centrale de la cible en une ellipse. Ceci permet d'estimer la position de chaque point du disque après projection. Pour échantillonner régulièrement les  
20 anneaux de codage de la cible, il suffit alors de sélectionner des points espacés régulièrement sur le disque initial puis de les projeter dans l'image.

La figure 11A illustre un modèle de référence. La figure 11B illustre une ellipse obtenue  
25 après projection perspective.

Pour projeter les points du modèle de référence sur l'ellipse, on calcule dans un premier temps les coordonnées des sommets de l'ellipse. On dispose alors des coordonnées de cinq points  
30 caractéristiques de l'ellipse P1, P2, G1, G2 et C comme illustré sur la figure 12.

On peut alors utiliser des couples de birapports (invariant projectif) pour calculer les coordonnées des points échantillons. Il est en effet possible d'adapter la méthode présentée dans le cas  
5 mono-dimensionnel (bi-rapport sur des points alignés) pour traiter le cas bi-dimensionnel. Cela revient au calcul d'une homographie à un facteur de rotation près. Mais, dans ce cas, le calcul des deux bi-rapports est plus efficace (utilisation directe des paramètres de  
10 l'ellipse).

Plus précisément, pour retrouver un point M, on calcule un birapport pour sa projection  $M_x$  sur l'axe des abscisses et un birapport pour sa projection  $M_y$  sur l'axe des ordonnées, comme illustré sur la  
15 figure 13.

On peut alors utiliser la méthode basée sur les birapports pour retrouver les projections des points  $M_x$  et  $M_y$  dans l'image. Connaissant l'orientation de l'ellipse et son centre, on peut alors utiliser le  
20 repère local attaché à l'ellipse pour remonter aux coordonnées du point M.

Cette méthode permet donc bien d'échantillonner régulièrement les contours d'une ellipse ayant la même forme que le disque central de la  
25 cible, à un facteur d'échelle près et donc de retrouver les différents anneaux de codage.

#### • Segmentation adaptative

Selon l'éclairage, les intensités  
30 lumineuses ou "niveaux de gris" correspondants aux

zones noires et aux zones blanches de la cible peuvent varier de manière importante.

Pour chacune des cibles détectées à ce niveau, un algorithme de segmentation adaptative permet de connaître le niveau de gris correspondant aux zones  
5 noires et celui correspondant aux zones blanches.

On utilise un procédé de l'art connu, basé sur l'analyse de l'histogramme de la zone considérée. L'histogramme représente le nombre de pixels ayant un  
10 niveau de gris donné. Le procédé recherche deux modes M1 et M2 (maxima) sur cet histogramme ainsi que le seuil optimal séparant les deux classes de pixels.

La figure 14 illustre un cas permettant d'obtenir un histogramme bimodal. On a calculé  
15 l'histogramme (figure 14B) de la zone contenue dans le carré 40 (figure 14A).

Le procédé segmente les niveaux de gris de l'histogramme en deux classes en faisant varier le seuil séparant ces classes. Ce seuil est optimisé  
20 itérativement jusqu'à l'obtention d'un seuil défini comme étant le seuil optimal.

On dispose donc d'une méthode permettant d'estimer les niveaux de gris, c'est-à-dire les intensités lumineuses, des pixels noirs et blancs  
25 composant une cible codée.

#### • Algorithme d'identification

L'utilisation des algorithmes précédents permet d'obtenir une liste de points régulièrement  
30 échantillonnés dans chacun des anneaux de codage. L'algorithme de segmentation adaptative permet de

connaître la couleur de chacun de ces points, directement à partir de l'intensité lumineuse.

On obtient ainsi des listes de "couleurs" correspondant aux intensités des points régulièrement échantillonnés le long des anneaux de codage.

Pour assurer une certaine robustesse au bruit, on utilise un filtrage médian sur les listes de "couleurs" (l'intensité d'un point est déterminée à partir de l'intensité de  $n$  de ses voisins).

On recherche alors dans la liste de "couleurs" correspondant au premier anneau de codage les positions des deux transitions noir/blanc de cet anneau. Si il y a plus ou moins de deux transitions dans cet anneau, la cible est considérée comme invalide.

Dans le cas contraire, on calcule la position du centre du secteur de "couleur" minoritaire dans la liste de points échantillonnés. Ceci donne une bonne approximation de l'orientation de la cible. Il est alors possible, grâce à cette position, de calculer la "couleur" du secteur du deuxième anneau de codage adjacent au secteur minoritaire du premier (secteur 1 de la figure 3). On avance ensuite successivement du quart de la longueur de la liste pour obtenir la "couleur" des trois autres secteurs (secteurs 2, 3 et 4 de la figure 3). On obtient ainsi l'identification de chaque cible codée.

#### • Gestion des occultations

On est donc en mesure de détecter et d'identifier les cibles codées dans des images. Il



reste à régler le problème des occultations des cibles codées. Il est en effet fréquent qu'une cible soit partiellement cachée par un objet de la scène lorsque l'on observe cette scène sous plusieurs points de vue  
5 très différents. Il faut alors être capable de détecter cette occultation pour ne pas commettre d'erreur d'identification.

On a choisi d'ajouter un troisième anneau de codage 18 aux cibles codées utilisées précédemment,  
10 comme illustré sur la figure 15.

On impose pour le codage de telles cibles les mêmes contraintes sur les secteurs des deux anneaux de codage intérieurs 10 et 11. On impose de plus que les secteurs 1', 2', 3' et 4' du troisième anneau de  
15 codage 18 soient respectivement de couleur inverse aux secteurs 1, 2, 3 et 4 du second anneau de codage 11.

Le non-respect de cette contrainte permet alors de repérer la plupart des cibles occultées par des objets de la scène. La figure 16 présente un  
20 exemple d'une telle cible codée.

La figure 17 illustre les différentes étapes de l'étape d'identification.

Pour chaque cible, on a ainsi :

- 25 - Segmentation adaptative (étape 50),
- Estimation des déformations cercle/ellipse (étape 51),
- Echantillonnage régulier des couronnes (étape 52),
- 30 - Extraction des listes de couleurs (étape 53),

- Filtrage des listes (étape 54),
- Identification de la cible (étape 55),
- éventuellement Gestion des occultations (étape 56).

5

Le procédé de l'invention permet d'obtenir des résultats robustes aux distorsions projectives, indépendant de l'échelle des cibles utilisées, robustes aux occultations, et robustes aux changements  
10 d'éclairage.

## REFERENCES

- [1] Ahn S.J. et Schultes M. "A new circular coded target for the automation of photogrammetric 3D-surface measurements" (Optical 3-D Measurement Techniques IV : Applications in architecture, quality control, robotics, navigation, medical imaging and animation. Heidelberg : Wichmann, 1997, pages 225-234).
- [2] Ganci Giuseppe et Handley Harry. "Automation in videogrammetry" (International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Hakodate 32(5), pages 53-58, 1998).
- [3] Knyaz Vladimir A. et Sibiyakov Alexander "Non Contact 3D Model Reconstruction Using Coded Target", (8<sup>th</sup> International Conference on Computer Graphics and Visualization, Moscou, 1998).
- [4] US 5,911,767
- [5] WO 97/31336
- [6] US 5,554,841

**REVENDICATIONS**

1. Cible codée utilisée en photogrammétrie, qui est circulaire et comporte au moins deux anneaux de codage (10, 11) concentriques d'au moins deux secteurs angulaires égaux, disposés autour d'une zone centrale (12) comportant un disque central (13) de couleur homogène entouré d'un anneau de couleur complémentaire (14), lui-même entouré d'un anneau (15) de même couleur que le disque central (13), caractérisée en ce que le premier anneau de codage (10), qui est le plus interne, a tous ses secteurs de la même couleur sauf un qui a une couleur complémentaire.

2. Cible selon la revendication 1, dans laquelle le disque central (13) est de couleur blanche ou noire.

3. Cible selon la revendication 1, dans laquelle le second anneau (15), qui entoure le premier anneau (14) entourant le disque central (13), est plus fin que le premier anneau (14).

4. Cible selon la revendication 1, dans laquelle chaque secteur de chaque anneau est de couleur homogène.

5. Cible selon la revendication 1 qui comporte un troisième anneau de codage (18) dont les secteurs sont de la couleur complémentaire à celle du secteur adjacent du second anneau de codage (11).

6. Procédé de photogrammétrie utilisant des cibles codées spécifiques, telles que revendiquées dans l'une quelconque des revendications précédentes, et un logiciel de reconnaissance de ces cibles sur des images, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

- une étape (étape 20) de détection de la zone centrale des cibles donnant une première localisation des cibles sur l'image,
- une étape (étape 21) de localisation fine des cibles prenant en compte les déformations dues à la perspective,
- une étape (étape 22) d'identification de la cible avec identification des anneaux de codage et de leurs secteurs, évaluation des couleurs des anneaux de codage et gestion des occultations.

7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel l'étape de détection (étape 20) comprend successivement :

- utilisation d'un filtre dérivateur, tel que par exemple un filtre de Sobel ou de Carry-Deriche, pour le calcul des gradients en X et en Y (étapes 30 et 31),
- calcul de la norme du gradient et de la direction de celui-ci (étape 32),
- calcul des images d'intersection et de direction (étape 33),
- extraction des cercles et des ellipses (étape 34),

- filtrage par seuillage (étape 35),
- étiquetage (étape 36),
- filtrage par régions (étape 37).

5                    8. Procédé selon la revendication 6, dans lequel l'étape d'identification (étape 22) comprend, pour chaque cible :

- Segmentation adaptative (étape 50),
- Estimation des déformation cercle/ellipse
- 10 (étape 51),
- Echantillonnage régulier des couronnes (étape 52),
- Extraction des listes de couleurs (étape
- 15 53),
- Filtrage des listes (étape 54),
- Identification de la cible (étape 55).

                  9. Procédé selon la revendication 8, dans lequel l'étape d'identification (étape 22) comprend en

20    outre une Gestion des occultations (étape 56).

                  10. Utilisation de cibles selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 dans le domaine de la métrologie industrielle.

25

                  11. Utilisation de cibles selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 dans le domaine de la vision par ordinateur.

30

1 / 8

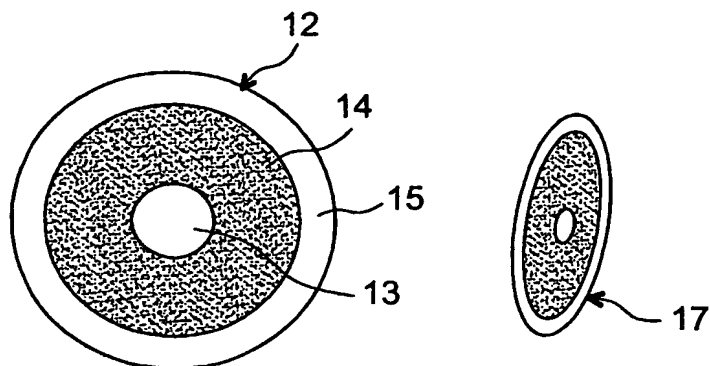


FIG. 1

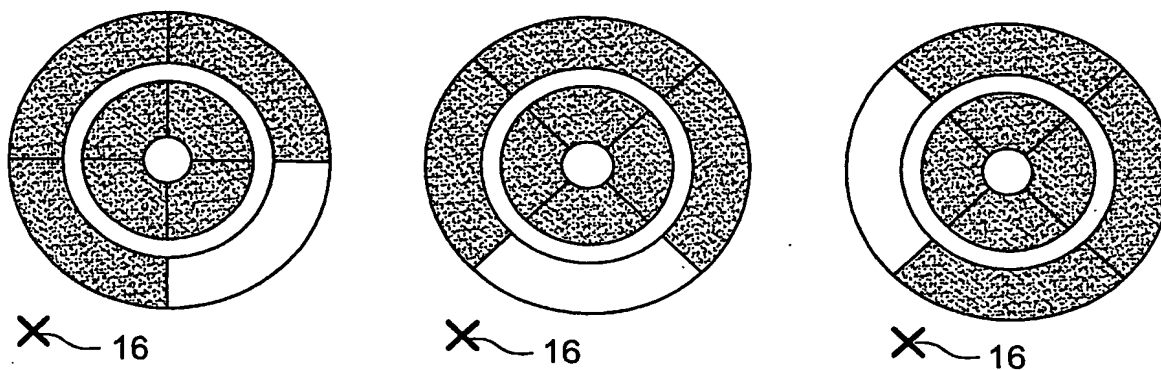


FIG. 2

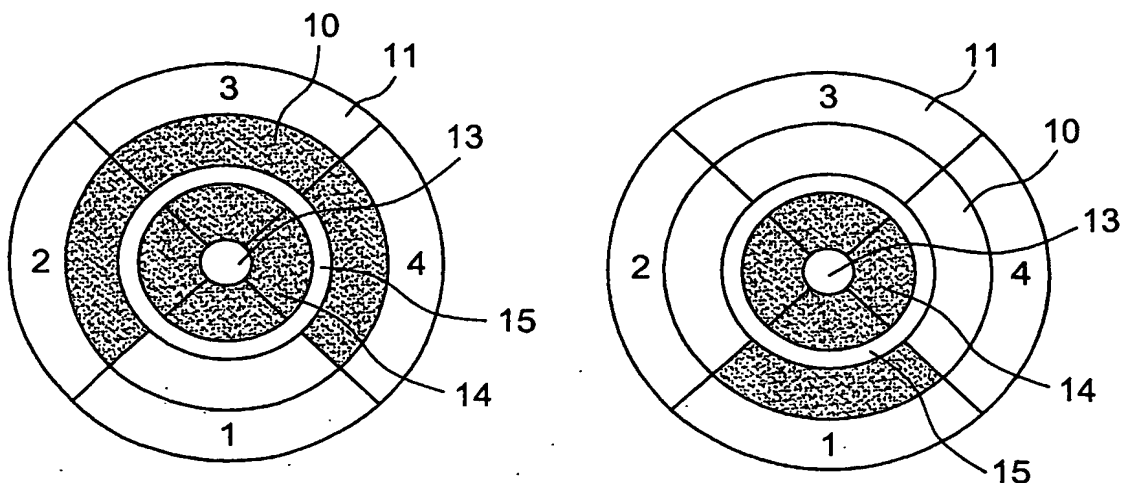


FIG. 3

2 / 8

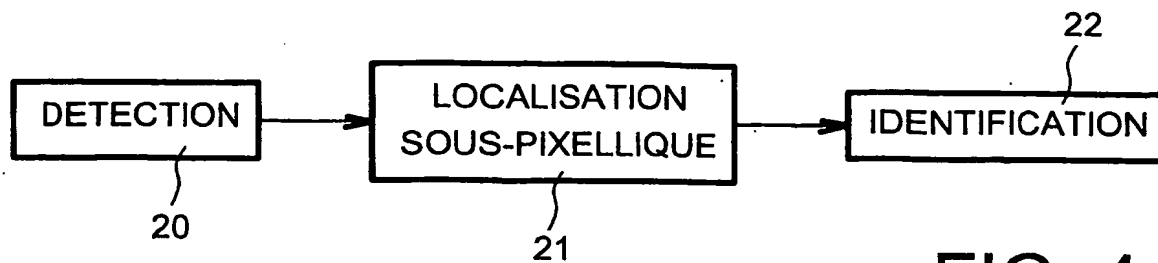


FIG. 4

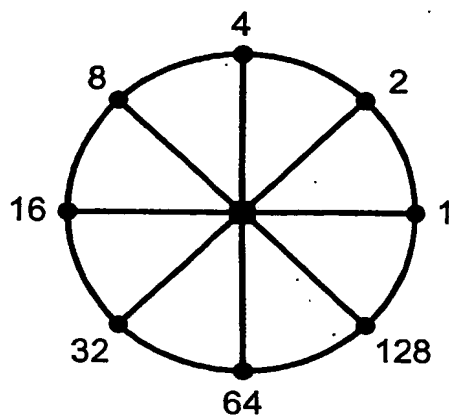


FIG. 5

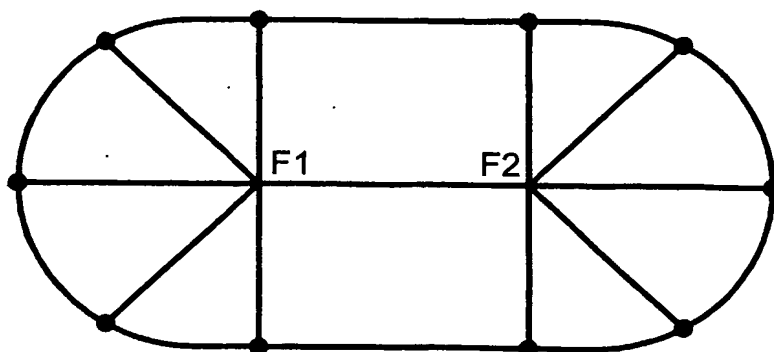


FIG. 6



3 / 8

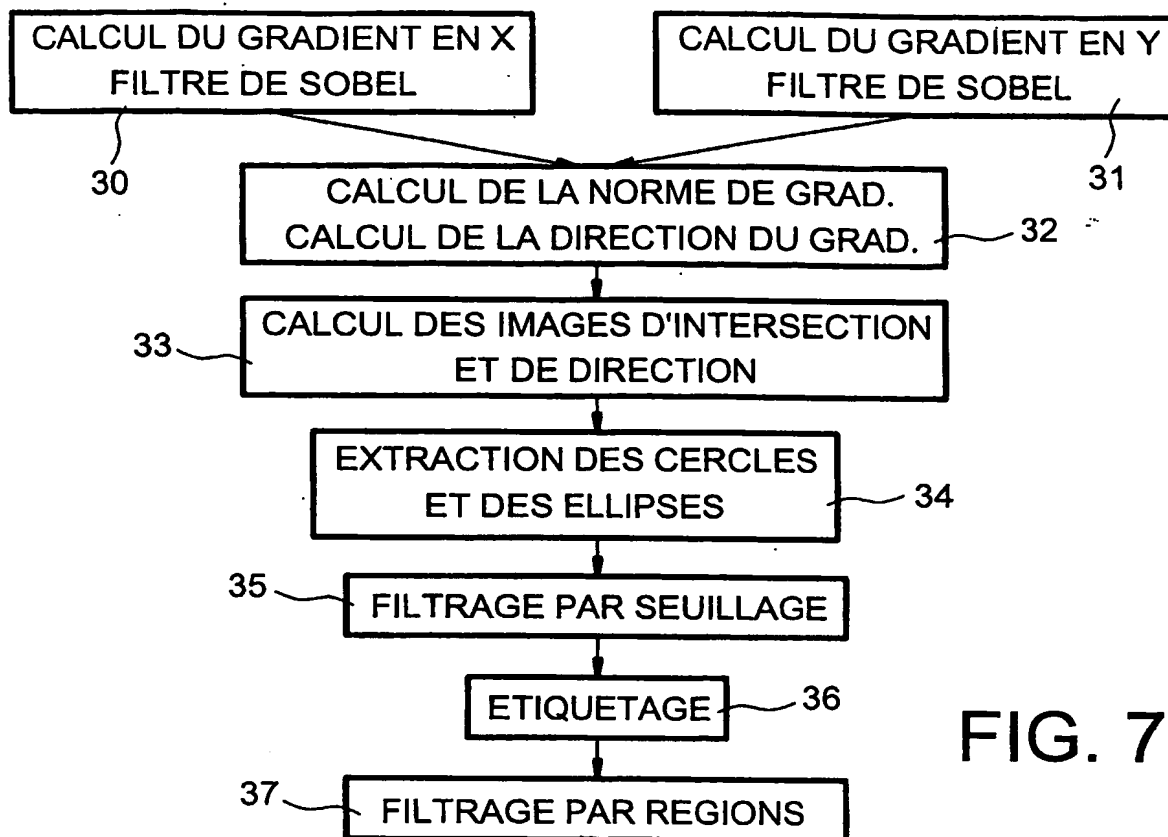


FIG. 7

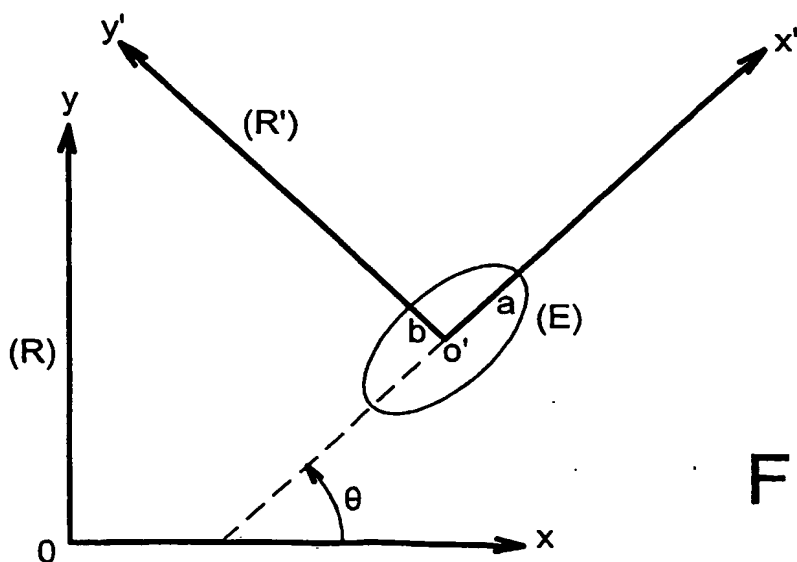


FIG. 8

4 / 8

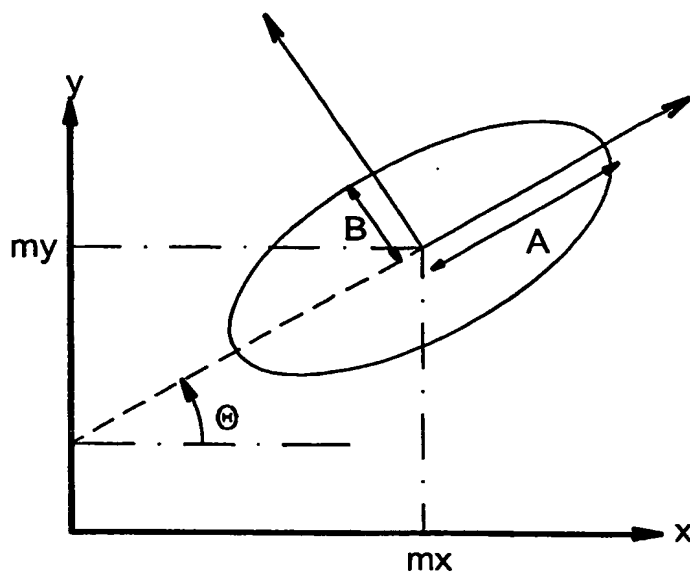


FIG. 9

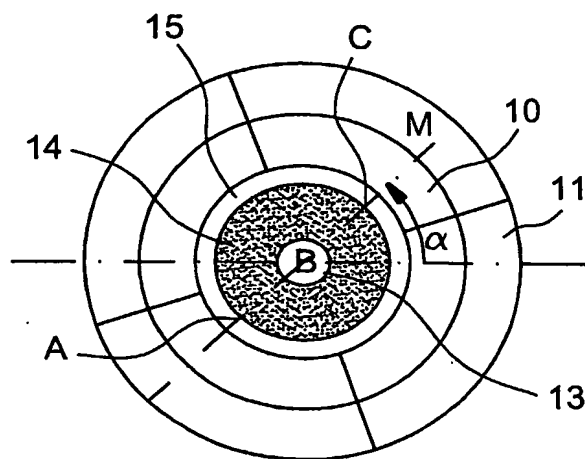


FIG. 10

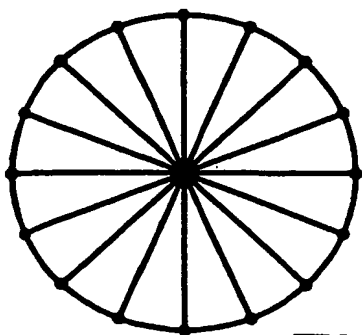


FIG. 11A

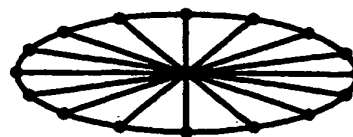


FIG. 11B

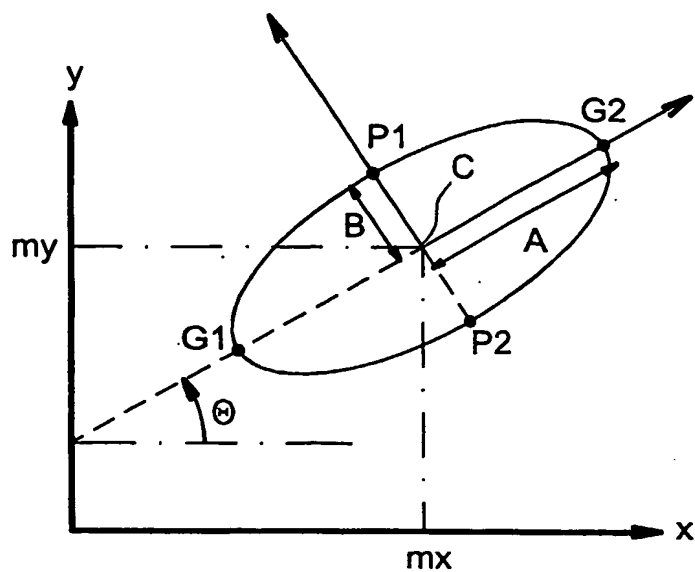


FIG. 12

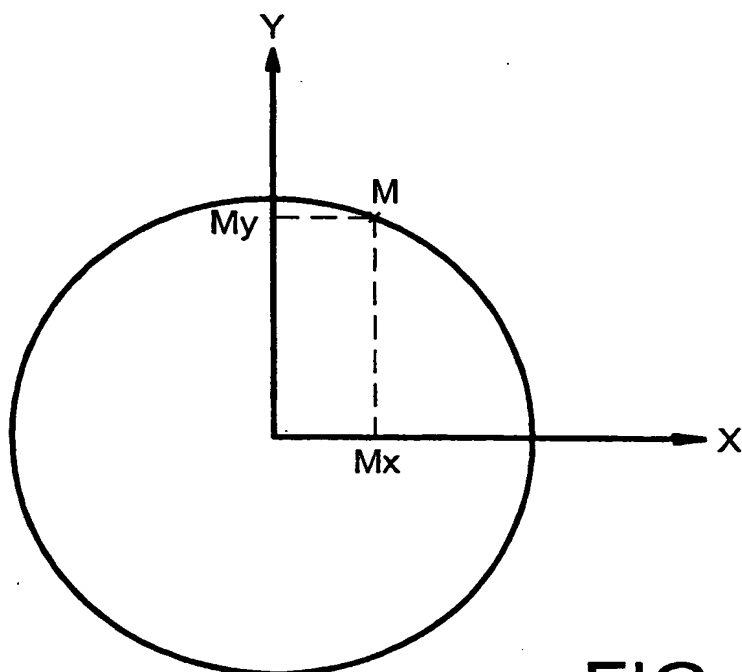


FIG. 13

6 / 8

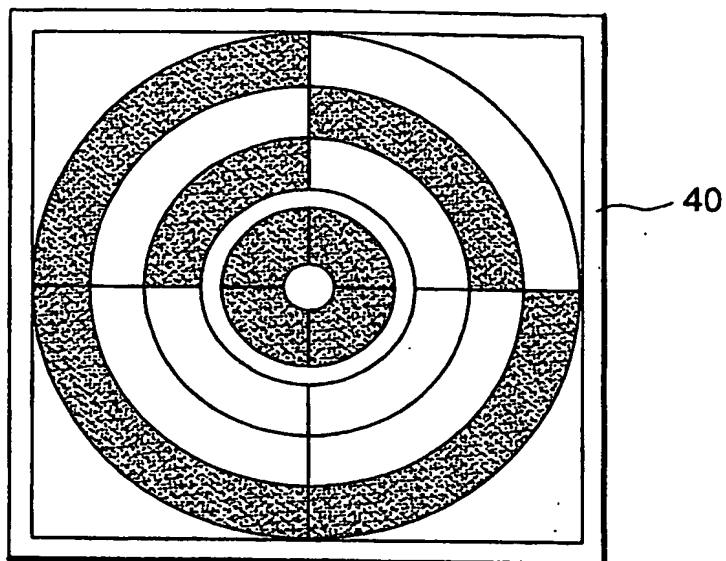


FIG. 14A

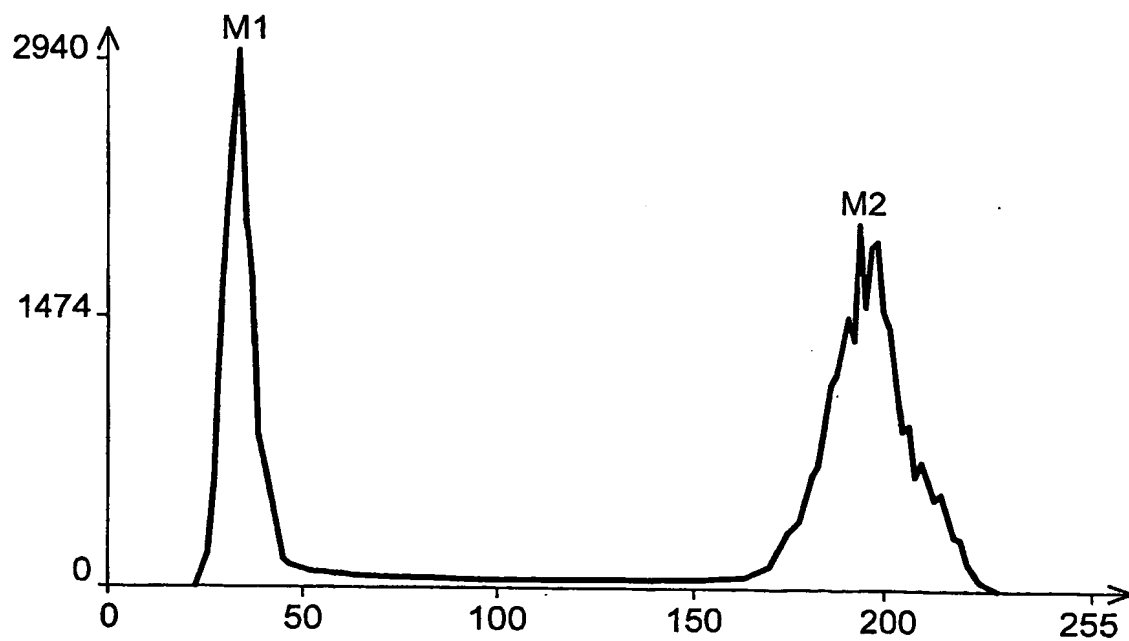


FIG. 14B

7 / 8

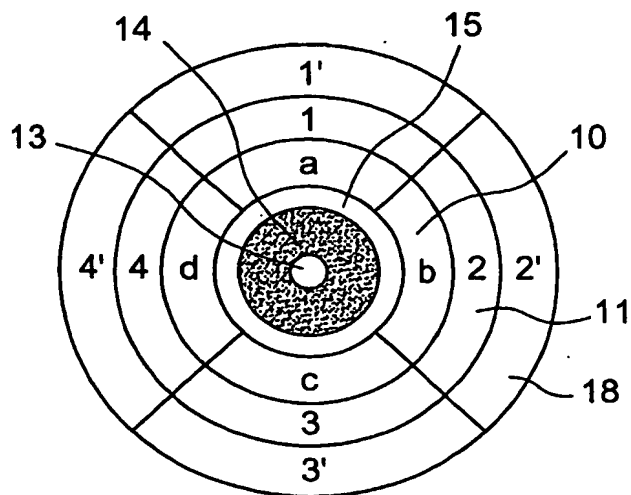


FIG. 15

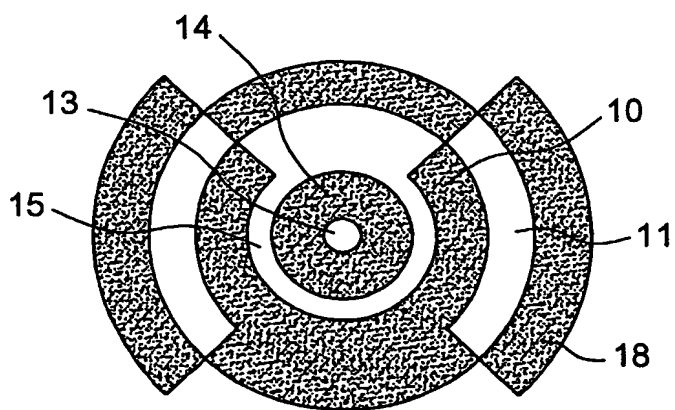


FIG. 16

8 / 8

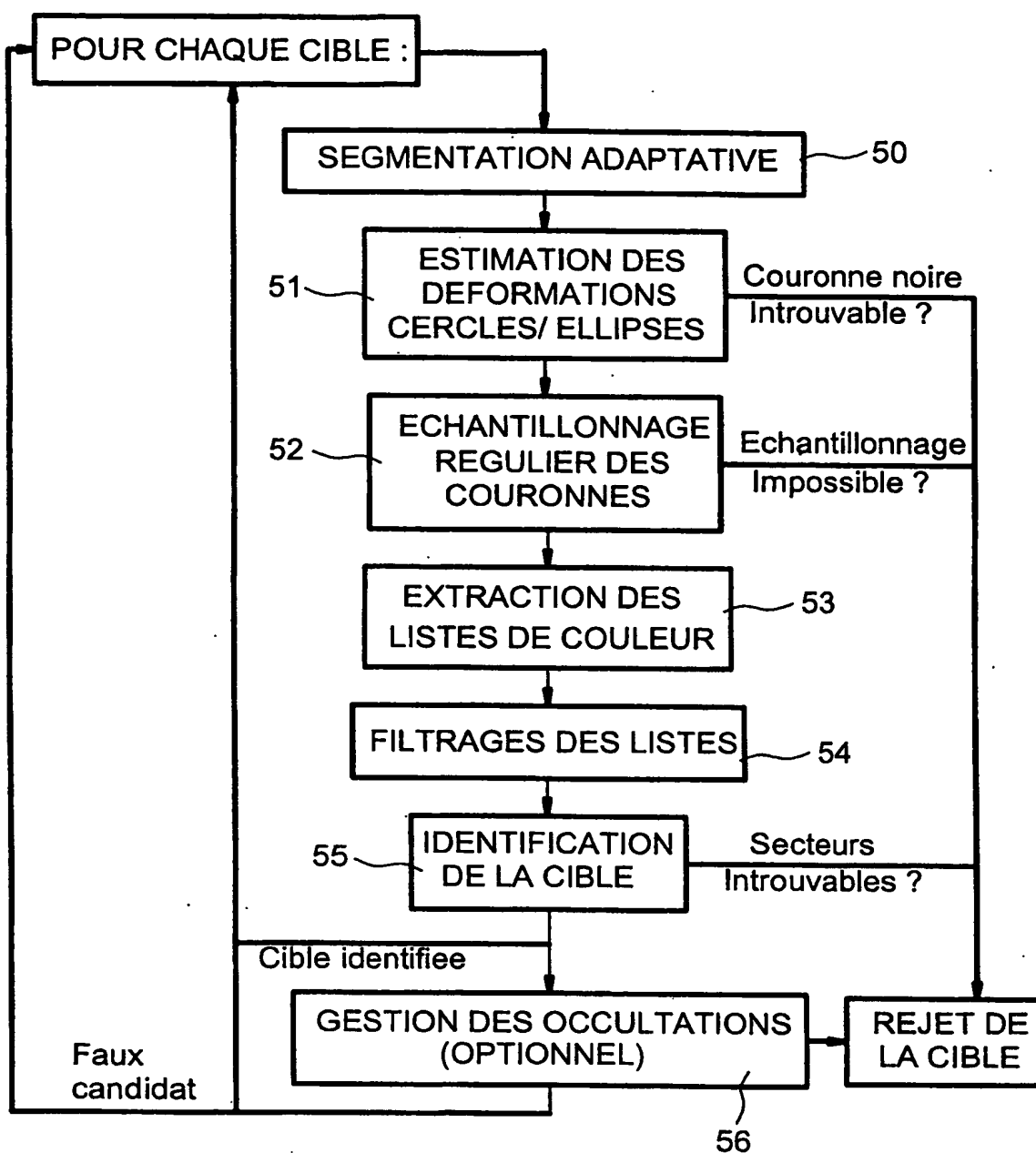


FIG. 17